

*О.В. Тарахно, к.т.н., начальник кафедри, УЦЗУ*

*В.М. Сирих, к.т.н., доцент УЦЗУ*

*Д.Г. Трезубов, к.т.н., викладач, УЦЗУ*

## **РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАПАЛЮВАННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДОВИХ ПОЖЕЖНО- ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ**

(Представлено д-ром техн. наук В.М. Комяк)

Проаналізовано можливість прогнозу мінімальної енергії запалювання горючих речовин  $E_{\min}$  розрахунковими методами. Показана необхідність вдосконалення розрахункових методик  $E_{\min}$ . Встановлена загальна залежність, що дозволяє проводити розрахунок  $E_{\min}$  за даних умов.

**Постановка проблеми.** Проведення судових пожежно-технічних експертиз безпосередньо пов'язано з дослідженням обставин початку горіння з метою встановлення механізму та причини його виникнення. Висунення і дослідження версій щодо причини виникнення пожежі знаходиться у нерозривному зв'язку з джерелами запалювання, які могли мати місце у випадку, що розглядається. Однією із задач, яка при цьому вирішується, є визначення можливості запалювання горючих речовин і матеріалів від ймовірного джерела запалювання. Під час дослідження пожеж, що виникли при запалюванні газо-, паро- або пилоповітряних сумішей, важливе значення має визначення мінімальної енергії запалювання горючої речовини –  $E_{\min}$ . Актуальною є необхідність визначення цього параметру як за нормальних умов, в якості порівняльної характеристики горючої речовини, так і за фактичних умов для визначення фактичної можливості запалювання горючої повітряної суміші.

Значення  $E_{\min}$  використовують при розробці заходів для забезпечення вибухобезпечних умов переробки горючих речовин та електростатичної безпеки технологічних процесів у відповідності з вимогами [1]. Безпечним вважають розряд електрики, який має енергію меншу, ніж 40 %  $E_{\min}$ .

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Експериментально  $E_{\min}$  визначають за ймовірністю виникнення горіння 0,01 за серією випробувань, яка вимагає в тому числі визначення найбільш небезпечного електророзрядного зазору. Методикою визначення  $E_{\min}$  жорстко регламентується тиск при випробуванні (101,3 кПа) та пропонується визначати  $E_{\min}$  за нормальної температури [2] або температурну залежність в інтервалі температур 298 – 423 К з шагом 25 К [3]. Наявність зниження  $E_{\min}$  за більших початкових температур підтверджують дані, наведені в інструкції [3] та довіднику Баратова А.Н.

---

[4], однак такі дані наведені лише для декількох речовин. Оскільки експериментальне визначення  $E_{\min}$  вимагає наявності спеціального обладнання та фіксованих умов, в літературі пропонуються декілька розрахункових формул [5].

Розрахунок  $E_{\min}$  горючої речовини можливий на основі порівняльного методу з використанням нормальної швидкості поширення горіння двох порівнюваних речовин та  $E_{\min}$  еталонної речовини:

$$\frac{E_{\min_1}}{E_{\min_2}} = \frac{u_{н_2}^2}{u_{н_1}^2}, \quad (1)$$

де  $E_{\min_1}, E_{\min_2}$  – мінімальна енергія запалювання речовин 1 і 2;

$u_{н_1}, u_{н_2}$  – нормальна швидкість поширення горіння речовин 1 і 2.

Ця формула тим точніша, чим ближче за будовою речовини, які порівнюються; за стандартну речовину прийнято - нормальний бутан.

Орієнтовний розрахунок  $E_{\min}$  парів та газів у повітрі можна проводити за значенням критичного діаметра трубки (критичного зазору), за якого вже неможливе поширення полум'я в горючій суміші:

$$E_{\min} = \frac{\pi}{6} d_{кр}^3 q_{гс}, \quad \text{Дж}, \quad (2)$$

де  $d_{кр}$  – величина критичного зазору, м;

$q_{гс}$  – питома кількість тепла, необхідна для нагріву горючої суміші від початкової температури до температури самоспалахування, Дж·м<sup>-3</sup>.

Через незначний вміст горючої речовини в стехіометричній суміші з повітрям, питому кількість тепла, що необхідна для нагріву горючої суміші від початкової температури до температури самоспалахування  $T_{сс}$ , розраховують як тепло, що витрачається на відповідний нагрів повітря  $q_{гс} = q_{пов}$ . Для того, щоб розрахувати тепло, яке витрачається на нагрів повітря користуються табличними даними [4], що визначають залежність об'ємної теплоємності вологого повітря та тепла, що витрачається на нагрів 1м<sup>3</sup> повітря від 293 К до  $T_{сс}$ .

Для перерахунку  $E_{\min}$  визначених для нормальних умов на фактичну  $E_{\min}$  для даних умов – нами, на підставі обробки експериментальних та довідникових даних, була отримана наступна залежність:

$$E_{\min} = E_{\min}^{\circ} \left( 1 - \frac{T_{пoch} - 273}{T_{сс} - 273} \right), \quad \text{Дж}, \quad (3)$$

де  $E_{\min}^{\circ}$  – мінімальна енергія запалювання горючої речовини за нормальних умов, Дж. Дана формула співпадає з залежністю визначеною раніше [3]. Похибка при розрахунку за формулою (3) не

перевищує 3 %, коефіцієнт кореляції 0,999.

Але, як показав проведений аналіз, вище означені розрахункові методики визначення  $E_{\min}$  мають ряд недоліків:

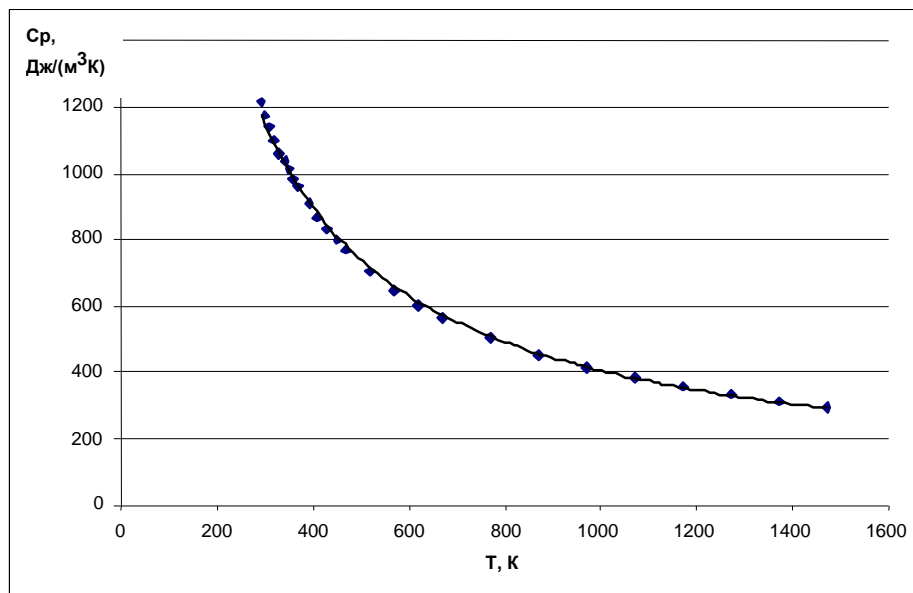
- за формулою (1) - велика похибка розрахунку  $>22\%$ , відсутність для багатьох речовин значень  $u_n$ , розрахунок лише для стандартних умов;
- за формулою (2) – похибка розрахунку до 30 %, відсутність для багатьох речовин значень критичного зазору, наявність дискретних табличних значень залежності  $c_{p_{\text{пов}}}''(T)$  лише для температур  $>293\text{ K}$ ;
- за формулою (3) – необхідність користуватись довідниковими даними для  $E_{\min}$  за нормальних умов.

**Постановка задачі та її рішення.** Зважаючи на результати проведеного аналізу для використання при розрахунках можна запропонувати формулу (2), оскільки вона дозволяє отримати меншу похибку. Для приведення відповідної залежності  $E_{\min}(d_{\text{кр}}, T)$  до універсального виду була проведена обробка табличних даних, наведених у літературі [4]. На нагрів повітря до  $T_{\text{сс}}$  витрачається тепло  $Q_{\text{пов}}$ :

$$Q_{\text{пов}} = \int_{t_{\text{поч}}}^{t_{\text{сс}}} c_{p_{\text{пов}}}'' dt, \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (4)$$

де  $c_{p_{\text{пов}}}''$  – ізобарна питома об'ємна теплоємність повітря,  $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$ .

Графічне відображення залежності  $c_{p_{\text{пов}}}''(T)$  наведено на рис.1.



**Рис. 1 – Залежність об'ємної теплоємності вологого повітря від температури**

Математична обробка цих даних дозволила отримати

---

апроксимаційну залежність об'ємної теплоємності вологого повітря від температури у вигляді:

$$c_{p_{\text{пов}}}'' = 173771 \cdot T^{-0,88}, \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}. \quad (5)$$

Тоді рівняння (3) з урахуванням (4) можна представити у вигляді:

$$q_{\text{пов}} = \int_{T_{\text{поч}}}^{T_{\text{сс}}} c_{p_{\text{пов}}}'' dT = 1,45 \cdot 10^6 \left( T_{\text{сс}}^{0,12} - T_{\text{поч}}^{0,12} \right), \text{ Дж} \cdot \text{м}^3. \quad (6)$$

Або у загальному вигляді для розрахунку  $E_{\text{min}}$ :

$$E_{\text{min}} = \frac{\pi}{6} d_{\text{кр}}^3 \cdot 1,45 \cdot 10^6 \left( T_{\text{сс}}^{0,12} - T_{\text{поч}}^{0,12} \right), \text{ Дж}. \quad (7)$$

Похибка розрахунку  $E_{\text{min}}$  за стандартних умов за формулою (7) трохи менша (1,8 – 27 %), ніж за формулою (2) оскільки дозволяє враховувати будь-яку початкову  $T_{\text{поч}}$  та кінцеву температуру нагріву (температуру самоспалахування  $T_{\text{сс}}$ ).

**Висновки.** 1. Проаналізовано стан розрахункових методик щодо визначення мінімальної енергії запалювання. За результатами проведеного аналізу визначено методику з меншою похибкою розрахунку.

2. Запропонована математична залежність (4), що визначає зміну об'ємної теплоємності вологого повітря від температури.

3. На підставі визначеної залежності об'ємної теплоємності вологого повітря від температури встановлена загальна формула для розрахунку  $E_{\text{min}}$  (7), яка характеризується меншою похибкою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. - М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. Временная инструкция по определению минимальной энергии зажигания парогазовых смесей № 10-70. - М.: ВНИИПО. - 1970. - 32 с.
3. Инструкция по определению минимальной энергии зажигания горючих газов, паров и пылей / Под ред. Монахова В.Т. и др. - М.: ВНИИПО. - 1977. - 54 с.
4. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х кн. - М.: Химия. - 1990. - 272 с.
5. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1979. - 424с.